

冀东司家营沉积变质型铁矿床找矿模型

许英霞¹ 张龙飞¹ 李厚民² 李立兴² 高孝敏³ 贾东锁³

- (1. 河北联合大学矿业工程学院地质系, 河北唐山 063009;
2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
3. 河北省地矿局第二地质大队, 河北唐山 063000)

[摘 要] 司家营铁矿床是冀东地区典型的沉积变质型铁矿床, 也是冀东地区最大的铁矿床, 累计探明资源量达 32 亿吨。本文首先对司家营铁矿的区域地质、矿区地质及控矿条件等进行了系统总结, 并结合前人对司家营铁矿构造背景、成矿时代、铁矿成因及后期改造作用的研究, 初步建立了司家营铁矿的成矿模式。通过对司家营铁矿的航磁、地磁异常特征、区域重力异常特征及可控源音频大地电磁测深(CSAMT)剖面进行解析和矿致异常信息的提取, 认为重磁法为主、电法为辅的地球物理方法在该地区可有效圈定矿集区。因此, 本文在总结归纳司家营铁矿床地质控矿条件及地球物理特征的基础上, 建立了司家营铁矿地质-地球物理找矿模型。该模型的建立可为滦县-滦南-昌黎地区进一步开展沉积变质型铁矿的找矿工作提供理论依据。

[关键词] 沉积变质型铁矿床 找矿模型 成矿模式 司家营 冀东

[中图分类号] P611 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2015)01-0023-13

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2015.01.003

Xu Ying-xia, Zhang Long-fei, Li Hou-min, Li Li-xing, Gao Xiao-min, Jia Dong-suo. The exploration model of the Sijiaoying sedimentary metamorphic iron deposit in eastern Hebei Province, China [J]. *Geology and Exploration*, 2015, 51(1): 0023-0035.

0 引言

冀东司家营铁矿是受晚太古界滦县群司家营组变质中酸性火山凝灰岩-沉积岩建造控制的沉积变质型铁矿。历经多次勘查, 其累计探明铁矿资源量达 32 亿吨, 平均品位约 30%^{①②}。2009 年河北省地矿局地质二队在司家营南区深部补充勘探中, 在 S22 线 ZK602 钻孔中发现了 6 层富铁矿^②, TFe > 50% 的铁矿石储量约 500 万吨(许英霞等, 2014), 引起了国内众多专家的关注。前人对司家营铁矿的矿区地质特征、成矿时代、变质变形、矿床及富矿成因及地球物理特征等方面作了较深入的研究(沈其韩等, 1981a, 1981b; 高吉凤, 1981; 刘国惠, 1981; 李万亨等, 1983; 金文山等, 1985; 李欣, 2009; 李文君等, 2012; 刘新娜, 2012; 常素彩等, 2013; 陈靖等, 2014; 许英霞等, 2014; 张天龙等, 2014a, 2014b), 但

主要集中在司家营铁矿地质特征、控矿因素和重磁等特征方面, 尚未有将地质与物探相结合的研究。因此笔者在前人研究的基础上, 总结司家营铁矿成矿地质条件和控矿因素, 建立司家营铁矿成矿模式, 并系统分析归纳司家营铁矿重力、磁法、电磁法(CSAMT)等地球物理特征, 建立地质-地球物理找矿模型, 以期寻找该类型铁矿及深部隐伏铁矿预测提供参考。

1 区域地质特征

司家营铁矿位于中朝准地台-燕山台褶带-山海关抬拱西南边缘, 其西南为蓟县拗陷, 南部为黄骅拗陷(图 1)。该区经过了多期构造运动和变质作用, 褶皱和断裂构造发育。

区域上出露地层主要为双层结构。基底地层主要为新太古界滦县岩群, 盖层地层包括中-上元古

[收稿日期] 2014-03-14; [修改日期] 2014-08-23; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国土资源部公益性行业科研项目: 冀东地区沉积变质型铁矿富矿控矿条件及科学基础研究(201111002-04)和地质矿产调查评价工作项目: 辽冀地区沉积变质型铁矿控矿因素和勘查技术方法组合优选联合资助。

[第一作者] 许英霞(1973 年-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为矿床矿物学。E-mail: xuyx516319@163.com。

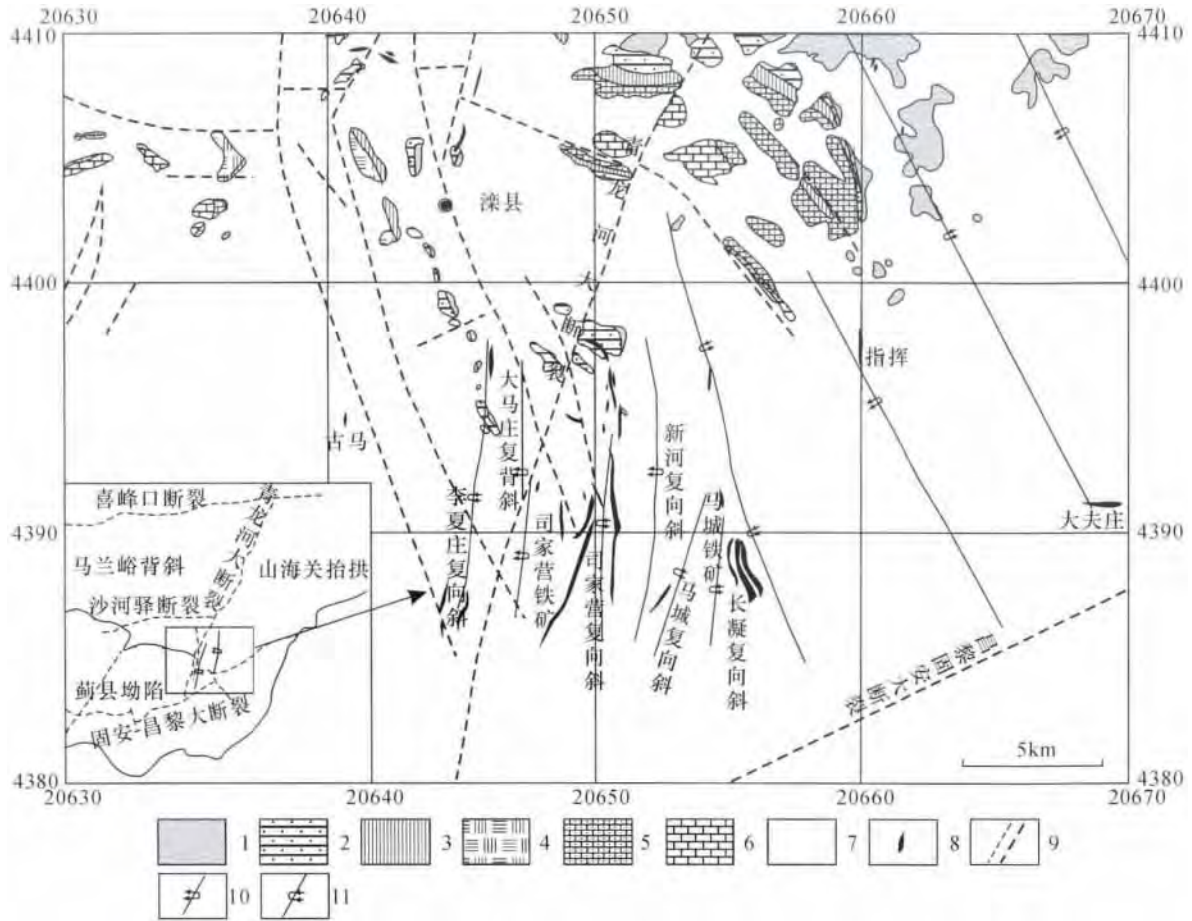


图1 滦县一带区域地质图

Fig.1 Regional Geological map of Luanxian area

1 - 滦县岩群(Ar_3L); 2 - 长城系(Ch); 3 - 蓟县系(Jx); 4 - 青白口系(Qn); 5 - 寒武系(ϵ); 6 - 奥陶系(O); 7 - 第四系(Q); 8 - 铁矿体; 9 - 断层; 10 - 倒转背斜; 11 - 倒转向斜

1 - Luxian group(Ar_3L); 2 - Changcheng system(Ch); 3 - Jixian system(Jx); 4 - Qingbaikou system (Qn); 5 - Cambrian (ϵ); 6 - Ordovician (O); 7 - Quaternary(Q); 8 - iron ore body; 9 - fault; 10 - overturned anticline; 11 - overturned syncline

界长城系、蓟县系、青白口系, 古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系, 新生界第四系, 其中滦县岩群是冀东地区最重要的铁矿赋矿层位之一。滦县群分布于滦县、青龙、卢龙一带, 在滦县一带最为典型, 主要以低角闪岩相变粒岩为主, 大体可分为三部分: 下部以斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩为主, 夹黑云变粒岩、浅粒岩等薄层; 中部主要为(角闪)黑云变粒岩和斜长角闪岩互层; 上部则以黑云变粒岩为主, 夹大量磁铁石英岩及薄层斜长角闪岩等, 主要分布在滦县司马营至马城一带。滦县岩群的原岩建造类型下部以基性火山岩为主, 中部为偏碱性的火山碎屑岩和半粘土质粉砂岩, 上部以凝灰质粉砂岩和硅铁建造为主, 局部出现碳酸盐岩沉积, 从下至上构成一个火山-沉积旋回。

区内基底构造以褶皱构造为主, 基本构造格局

自东向西由近南北向的阳山复背斜、司马复向斜构成。该褶皱带规模较大, 控制着“司马长”地区主要沉积变质铁矿床的形态、空间分布、规模和产状(张天龙, 2014a)。司马复向斜自东向西由马城复向斜、新河复背斜、司马营复向斜、大马庄复背斜、高官营-李夏庄复向斜五个次级同斜褶皱组成。褶皱轴走向为南北向或北北西向, 局部北北东向, 轴面西倾, 枢纽呈波状起伏, 总体向南倾伏。

断裂构造按走向不同可分为 NNE、NNW、NEE 向。NNE 走向的青龙河断裂是大地构造三级构造单元马兰峪复式背斜和山海关抬拱的划分界线; NNW 走向的冷口断裂为区域性构造单元的划分界线; NEE 走向的倣城断裂是固安-昌黎大断裂的东段, 为大地构造二级构造单元燕山台褶带和华北断拗的划分界线。此外还有其他次级断裂, 如 NNE 走

向的岩山断裂、任各庄断裂,NNW走向的响嘎断裂、坨子头断裂,近EW走向的长凝断裂等。上述断裂构造具有长期活动的特点,对该区域铁矿具有控制作用(张天龙,2014a)。

区域岩浆岩不发育,主要为燕山期形成的中酸性岩体和一些脉岩,少量穿切矿体的中基性脉岩。

2 矿床地质特征

2.1 地层

矿区几乎全部被第四系所覆盖,一般厚度80~120m,由北向南逐渐变厚。矿区下伏基岩地层属上太古界滦县群司家营组,由黑云变粒岩和磁铁矿石岩建造、少量斜长角闪岩等组成。司家营详勘报告以云母石英岩为标志层,将矿区的变质岩划分为司家营组两段^①:司家营组一段(Ar_3S^1)和司家营组二段(Ar_3S^2)。在矿区整体为一同斜背斜构造观点的基础上,对变质岩系建立地层层序如下:司家营组一段(Ar_3S^1)以黑云变粒岩为主,少量斜长角闪岩,上部夹薄层磁铁矿石岩;司家营组二段(Ar_3S^2)为矿区主要矿体赋存层位,底部为云母石英岩,下部以黑云变粒岩与磁铁矿石岩互层,均较薄,局部可见绿泥石化磁铁矿石岩(富铁矿),中间为磁铁矿石岩,夹黑云变粒岩、角闪绿泥片岩等;上部为黑云变粒岩。另外在矿区北部有中元古界长城系大红峪组地层出露。

2.2 构造

矿体及地层总体走向近南北,中部略向东凸出,沿倾斜倾角东陡西缓,上陡下缓。由矿体显示的总体构造格局为西倾的单斜形态,局部出现平缓背形,在矿体内部发育紧闭褶皱。矿区断裂构造较发育,按断裂构造发育程度和矿体形态特征可划分为东、西两个构造分区,与矿区矿段划分一致。断裂构造在大贾庄矿段相对较为发育,而司家营南矿段矿体较完整,基本没有被断层破坏。断裂构造按走向有NNW、NNE两组,较大的断层主要有四条,F12、F13为NNW走向,位于大贾庄矿段0线附近至大7线南,F12延长约900m,F13延长约600m,两条断层平行延伸,东倾,倾角 $70^\circ \sim 78^\circ$ 。断层性质为张性,错断了大(I+II)矿体S26线以北上部并使之分为三段,断层上盘矿体下落。F13垂直断距约20m,F12垂直断距122~255m。F9、F10为NNE走向断层,两条断层平行延伸,西倾。F9断层延伸长约250m,倾角 80° ,为正断层,断距约70m左右,仅在S26线有钻孔揭露。F10表现为逆断层,倾角 $63^\circ \sim 72^\circ$,自

大7线南延至大18线以南,长约1200m,垂直断距50~140m。两条断层错断了大7~大10之间大(I+II)矿体的矿头,并在S26线形成地堑式构造。

2.3 岩浆岩

矿区侵入体较少,但发育伟晶岩脉及辉长辉绿岩脉。伟晶岩在矿区老地层内广泛分布,一般呈脉状,顺层产出,少数呈透镜状,厚度一般5m以内。根据矿物成分及颜色的不同,分为红色伟晶岩和灰白色伟晶岩,均属混合热液成因。红色伟晶岩形成较晚,穿插灰白色伟晶岩。灰白色伟晶岩主要为石英、钠长石、少量黑云母、白云母等组成。与白色伟晶岩相比,红色伟晶岩含有更多的钾长石,结晶颗粒更大,两者对矿体有轻微破坏作用。变质辉长辉绿岩脉在矿区分布较广,主要分布在南矿段和大贾庄矿段西部及南部,黑绿色,变余辉长(辉绿)结构,块状构造,主要为基性斜长石和角闪石组成,蚀变矿物主要为绿泥石、绿帘石和钠长石,对矿体有一定破坏作用。此外,矿区还有少量花岗玢岩、煌斑岩、石英脉等,数量较少且规模小。

2.4 矿体特征

司家营铁矿可分为南北两区,北区出露有少量的铁矿露头,以隐伏矿为主,南区由南矿段和大贾庄矿段组成,全部为隐伏矿体,全长10.5km(见图2)。

北区由4个矿体组成:I号矿体为层状,单斜产出,在北区长约2km,是该矿最大的矿体(向南延伸至南矿区,总长约8.5km)。II号矿体为似层状或纺锤状,长度大约1km,位于I号矿体西侧。III号矿体为多层矿体组成,长约3km,矿体较厚,一般厚100~200m,最大厚度可达300m(图3),该矿体延深较大,400~600m,有的地段斜深800~1200m,厚度仍很稳定,并有越向深部越趋完整的趋势,这种厚大矿体的形成主要由于褶皱所致,III号矿体本身就是一个紧密的倒转向斜构造。IV号矿体长约1.5km,位于III号矿体西侧。矿体直接被中元古代地层不整合覆盖,局部地段矿体被剥蚀。

司家营铁矿南区矿体全长8.5km,宽1~2km,由大贾庄矿段和南矿段组成。主要分布五个矿体,大贾庄矿段3个矿体,南矿段2个矿体。大贾庄矿段(I+II)矿体和南矿段I矿体为主矿体。

南矿段:I矿体位于矿区东侧,是北区I矿体的南延,是南区规模最大矿体,约6km,呈层状,西倾,由多层矿体组成。II矿体位于I矿体西北部,长约2km,矿体产状、形态、埋深等与I矿体相似。

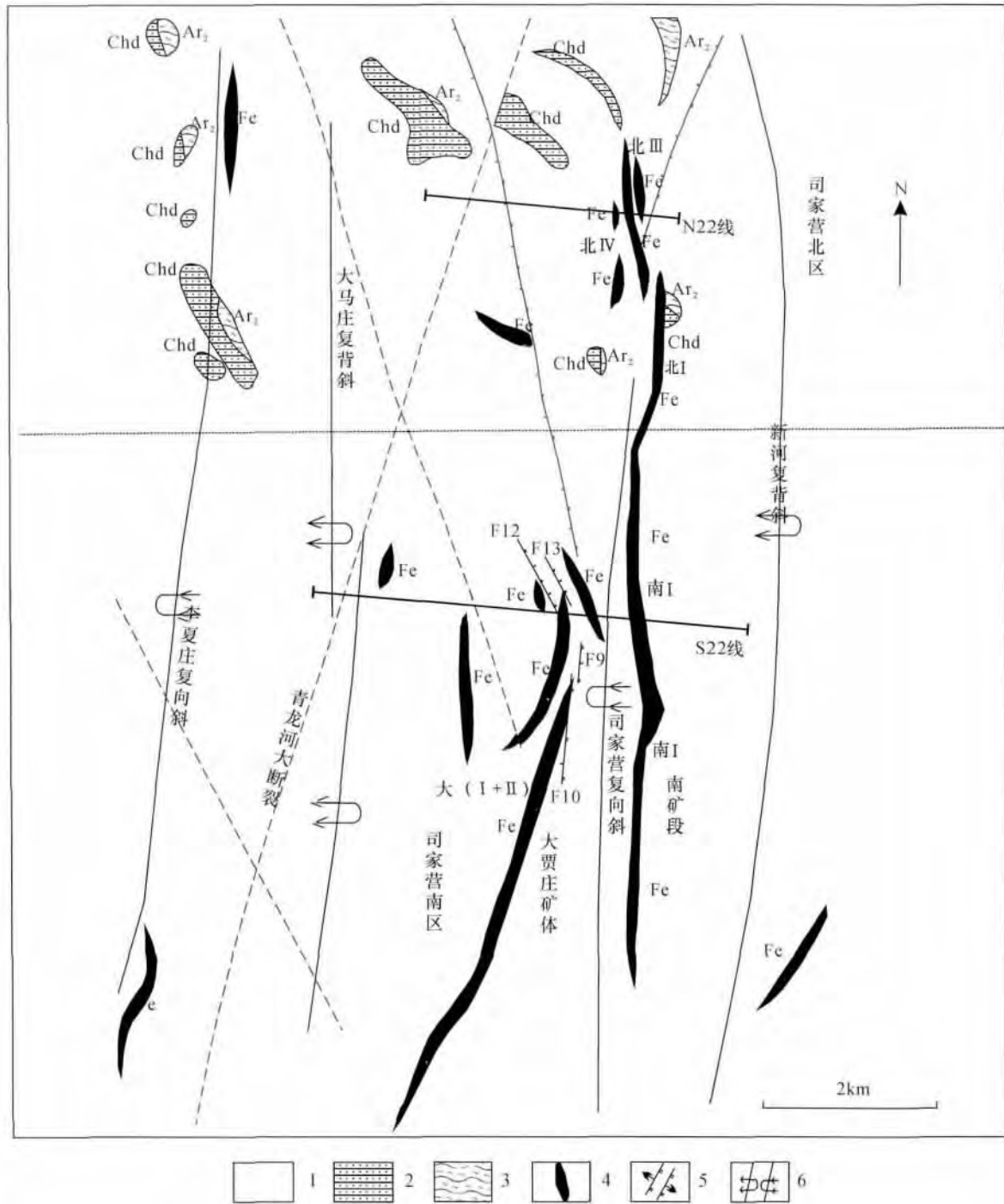


图2 冀东司家营铁矿床矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Sijiaying iron deposit in eastern Hebei province

1 - 第四系; 2 - 长城系大红峪组; 3 - 上太古界; 4 - 铁矿体; 5 - 断层; 6 - 倒转背斜和倒转向斜

1 - Quaternary system; 2 - Changcheng system Dahongyu Formation; 3 - Archaeozoic Erathem; 4 - iron ore body; 5 - fault; 6 - overturned anticline and overturned syncline

I 矿体和 II 矿体埋深受第四系厚度控制, 由北向南有逐渐加深趋势, 一般埋深 50 ~ 120m。

大贾庄矿段: (I + II) 矿体为大贾庄矿段最大的矿体, 断续长约 6.5 km, 西倾。南段矿体位于大

24 线南侧, 矿体长约 4.2 km, 倾向北西, 矿体由多层铁矿组成。北段矿体位于矿区中北部西侧, 长约 2.3 km, 埋深较大, 矿体由多层组成, 呈层状或似层状。矿体走向由北向南的变化为: NW → SN → SW,

整体呈向东凸出的弧形。矿体总体倾向西。Ⅲ、Ⅳ号矿体规模较小且形态较复杂。

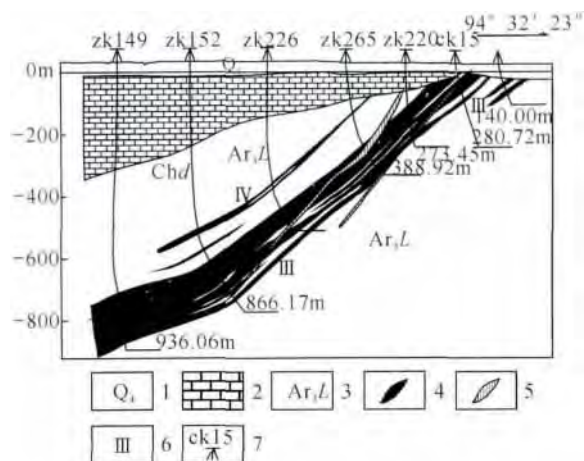


图3 冀东司家营铁矿床 N22 勘探线剖面图

Fig. 3 Profile map of N22 line in Sijiaying iron deposit in eastern HeBei province

1 - 第四系 (Q); 2 - 大红峪组 (Chd); 3 - 滦县岩群; 4 - 铁矿体; 5 - 辉绿岩脉; 6 - 矿体编号; 7 - 钻孔位置及编号
1 - Quaternary (Q); 2 - Dahongyu Formation; 3 - Luanxian group; 4 - iron ore body; 5 - doleritic veins; 6 - ore body number; 7 - drillhole position and number

此外,矿区尚有多个零星小矿体,多为单工程控制,矿体一般厚度2~5 m。从这些矿体相距主矿体的位置分析,应属同一层位的薄层矿,但沿走向和倾斜不连续。

2.5 富铁矿

区内各矿体中基本上均可见到富矿,但规模都很小,基本为单孔控制。富铁矿一般产在贫矿体中,可产于贫矿体的各部位,无明显规律。贫矿和富矿两者界线比较清楚,呈突变关系,但亦有少部分富矿与贫矿为渐变关系。根据对岩心的观察,富铁矿矿石呈块状,黑绿、黑、灰黑色,主要为磁铁矿,脉石矿物为石英、铁闪石、绿泥石和碳酸盐矿物等(许英霞等 2014)。钱祥麟等(1985)根据富铁矿的主要脉石矿物将富铁矿划分为:绿泥石型磁铁富矿、碳酸盐型磁铁富矿、黑云母型磁铁富矿和角闪石型磁铁富矿四个类型。富铁矿的磁铁矿颗粒与贫铁矿相比稍粗,强烈绿泥石化、碳酸盐化,显示出热液交代作用,在富矿体的周围有明显的热液蚀变,主要有绿泥石化、碳酸盐化、黑云母化。另外在矿区断裂带及混合花岗岩与围岩接触部位也常见有相似蚀变发生。

2.6 矿石特征

司家营铁矿矿石类型简单,主要为磁铁石英岩

和少量赤铁石英岩。磁铁石英岩矿石矿物主要为磁铁矿,少量赤铁矿和假象赤铁矿等;赤铁石英岩矿石矿物主要为赤铁矿、假象赤铁矿,脉石矿物以石英为主,次为铁闪石、阳起石以及少量普通角闪石等。石英含量一般为50%~60%,角闪石类含量约为5%~15%。矿石以他形-半自形结构为主,以铁矿物(含闪石类矿物)与石英构成黑白相间且相互平行的条纹(条带)为特征,分为细纹状、条纹状构造(为主)和条带状构造(次之),三者多呈渐变接触关系。全区矿石平均品位30.00%,其中赤铁矿石31.18%,磁铁矿石29.80%。矿区少量富铁矿石呈致密块状、稠密浸染状构造,主要矿物为磁铁矿(赤铁矿),石英等脉石矿物明显减少,颗粒明显较贫铁矿粗,一般0.05~1 mm(图4)。

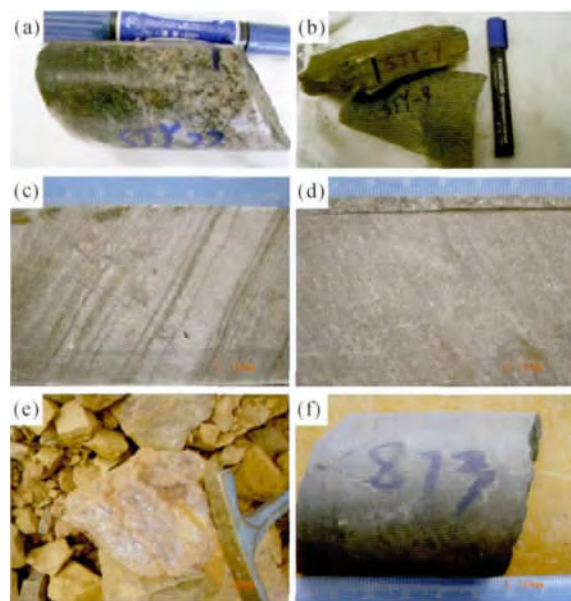


图4 司家营铁矿床围岩与矿石照片

Fig. 4 Photos of wall rocks and ores from the Sijiaying iron deposit

a - 混合花岗岩; b - 黑云变岩; c - 条带状磁铁矿石; d - 条纹状磁铁矿石; e - 条带状赤铁矿石; f - 块状磁铁矿石
a - migmatite granite; b - biotite leptynite; c - banded magnetite ore; d - striped magnetite ore; e - banded hematite ore; f - massive magnetite ore

3 成矿模式

滦县岩群司家营组是该矿床的赋矿地层,确定了围岩的年龄就限定了司家营铁矿的成矿时代。前人使用Rb-Sr、K-Ar法对司家营铁矿进行了部分工作,年龄均2500Ma左右,主要将其解释为滦县岩群区域变质作用终结的时间(沈其韩等,1981b;钱

祥麟等,1985;赵宗溥等,1993)。笔者利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年法,对采自与司家营铁矿矿体顶底板围岩侵入矿体中的钾化花岗岩中的锆石进行测定,限定司家营铁矿形成时代 2537~2545Ma,为新太古代末期(未发表数据),这与冀东杏山、石人沟、水厂、马兰庄等铁矿的年龄基本一致(丁文君,2010;孙会一等,2010;李延河等,2011;Zhang *et al*, 2011;Zhang *et al* 2012;曲军峰等,2013)。

综合区域与矿区地层特点,滦县岩群原岩含矿建造是典型的火山岩-沉积岩系-硅铁建造,具有明显的旋回性和韵律性,自下至上构成一个明显的火山旋回,司家营铁矿的形成与太古代火山活动有密切关系。华北克拉通的七个主要微陆块在新太古代末期以陆-弧、弧-弧、陆-陆拼贴在一起(Zhai *et al*, 2000;翟明国,2010),并伴随大量海底火山活动,带来丰富铁质。张连昌等(2012)认为华北克拉通新太古代晚期大多数 BIF 形成于岛弧构造环境,司家营铁矿可能形成于火山活动间歇期的弧后盆地沉积。

最近多位学者对司家营铁矿成矿物质来源及富铁矿成因进行了探讨。司家营铁矿不同类型矿石微量和稀土元素分配模式具有较好的一致性,不同类型矿石成矿物质来源可能均来自于海底热液与海水(李文君等,2012;许英霞等,2014)。关于司家营富铁矿成因,不同学者均认为其是受后期热液蚀变形成(钱祥麟等,1985;李文君等,2012;陈靖等,2014;许英霞等,2014)。钱祥麟等(1985)认为司家营富铁矿是贫铁矿在遭受后期混合岩化热液,发生碱质交代作用,去硅存铁形成的,强调了混合岩化热液的作用。许英霞等(2014)通过对司家营富铁矿的产出特征、不同类型矿石手标本和显微特征的详细研究,结合主微量元素分析,认为司家营铁矿在沉积时由于局部硅相对不饱和,形成一些富含铁镁质的硅酸盐矿物(角闪石、辉石等),这类矿物更易遭受后期热液蚀变,使铁质发生进一步富集,形成富铁矿,强调了原始沉积的控矿作用。陈靖等(2014)对司家营铁矿进行了流体包裹体研究,认为热液蚀变和韧性剪切期 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 体系低温流体是贫矿石发生去硅富铁形成富矿的主要原因。

通过总结前人关于司家营铁矿床区域地质、矿床地质、成矿时代、构造背景、矿床成因、后期改造作用的研究,笔者初步讨论了司家营铁矿的成矿模式(图5):

(1) 条带状铁矿的形成:晚太古代末期,洋壳较

薄容易拉张裂开,迁怀陆块与胶辽陆块发生拼接作用,伴随频繁的海底火山活动,大量镁铁质-超镁铁质岩浆喷发到海底,形成基性洋壳。海底火山和海底热泉喷出大量含 Si、Fe 的酸性热液。此外,由于洋壳下部地幔岩浆的加热,海水发生对流循环,从镁铁质-超镁铁质洋壳中淋滤处 Fe 和 Si 等元素,使深部的海水溶解了巨量的 Fe^{2+} 、Si。为司家营铁矿的形成提供了充足的物质基础。此时地球整体氧含量较少,海洋中仅上部水体含氧,下部大部分水体缺氧(李厚民等,2012)。在火山活动的间歇期,溶解了巨量 Fe^{2+} 、Si 的海水在上升流等的作用下上涌到大陆边缘浅海陆棚或盆地时,由于下部缺氧水体和上部富氧水体混合,且海水由强酸性变为弱酸或弱碱性,二价铁氧化成三价铁发生沉淀,铁质、硅质大量沉淀形成 BIF。由于上升洋流的活动是周期性的,因此形成了条带状构造(李厚民等,2012)。

(2) 铁矿围岩:司家营铁矿含矿原岩建造为火山岩-沉积岩系-硅铁建造,围岩主要为黑云变粒岩、黑云斜长变粒岩及斜长角闪岩。围岩的原岩建造从下部到上部由基性火山岩、中酸性火山碎屑岩向沉积岩过渡,构成一个火山-沉积旋回。但司家营铁矿围岩主要为中酸性火山碎屑岩-凝灰质(粘土质)粉砂岩,其围岩的形成与中酸性火山岩关系密切。

(3) 铁矿的后期改造:司家营铁矿沉积形成后不久便遭受了大面积的区域变质作用,主要经历了低角闪岩相变质作用(高吉凤,1981;张龙飞等,2014)。在变质变形过程中,原始沉积的含铁硅质岩的组分发生分异,铁质形成磁铁矿,硅质发生重结晶形成石英,并且矿物颗粒重结晶,颗粒变粗,形成有经济价值可开发利用的沉积变质型铁矿。随着区域变质作用的发展,混合岩化和花岗岩岩发生侵位,该期区域变质变形和岩浆活动既可以破坏原有矿床,也可以使铁矿中的部分铁质进一步重组富集,形成磁铁富矿。太古代之后,司家营铁矿遭受了一定的剥蚀,沉积覆盖了长城系和蓟县系,在元古代、中生代又遭受了一定程度的变质变形作用,但其对铁矿的改造远小于太古宙时期。同时,后期断裂构造的发育改变了矿体的产状和其连续性,对矿体有一定的破坏作用。

4 地球物理特征

4.1 主要岩(矿)石磁性及密度特征

司家营铁矿矿体赋存空间与磁异常有直接关系。磁铁矿石岩的磁性最强,其磁化率达到 $3 \times$

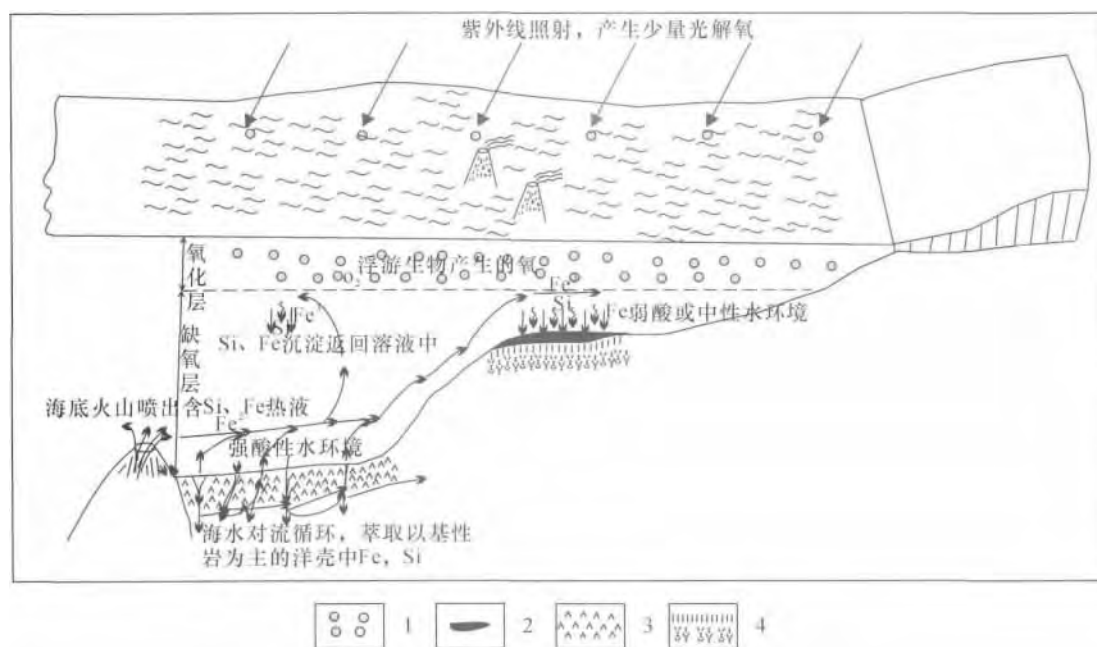


图5 司家营铁矿成矿模式示意图

Fig. 5 Sketch showing exploration model for the Sijiaying iron deposit

1 - 氧; 2 - 铁矿体; 3 - 洋壳基性、超基性火山岩; 4 - 粘土沉积及火山凝灰岩夹基性火山岩

1 - oxygen; 2 - iron ore body; 3 - oceanic crust base, ultrabasic volcanic rocks; 4 - clay sedimentary and volcano tuff interbedded with basic volcanic rocks

$10^{-2} \sim 15 \times 10^{-2}$ CGSM、剩余磁化强度达到 $5 \times 10^{-2} \sim 4 \times 10^{-2}$ CGSM; 它的磁性远高于本区赋矿层位太古界滦县群司家营组 (Ar^2S) 中的变粒岩、混合岩、片麻岩、辉长岩和辉绿岩等, 也远高于本区广泛分布的第四系沉积物。另外与铁矿关系最密切的含铁质石英岩表现为高密度特征, 密度均值均超过 2.9 g/cm^3 , 矿石密度常见值在 $2.9 \sim 3.6 \text{ g/cm}^3$ 之间, 其中磁铁石英岩的密度最大, 密度均值为 3.44 g/cm^3 ; 而近围岩黑云变粒岩、黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、片麻状混合岩等密度值均低于 2.8 g/cm^3 , 各类围岩密度在 $2.6 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 之间变化; 磁铁石英岩与围岩的密度差可达 $0.2 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$, 矿石与围岩有着明显的密度差异。由此可以看出矿区内矿石的磁化率、密度与围岩的磁化率、密度相差很大, 为矿区内开展高精度磁测及重力测量提供了有利条件。

4.2 磁异常特征

在沉积变质型磁铁矿的找矿勘查中, 磁法是一种重要的手段。该方法可通过航空磁测或地面磁法平面图圈定重点找矿区域, 寻找有明显规律、强度较大、范围广和走向明显的异常。

图6为司家营矿区航磁、地磁异常图。磁铁矿一般处于磁异常的高值位置, 通常高值中的高值和

低值中的高值是找矿非常有利的部位。司家营磁异常位于滦县-滦南异常区带的北部, 其东侧为马城异常带, 西部有高官营、李夏庄异常, 经勘查证明, 异常由铁矿引起。司家营磁异常呈南北向带状展布, 异常最高值为 3000 nT 以上, 矿体向南倾伏, 埋深加大。该区磁异常的极值较高、等值线较密集、正负异常相间分布, 异常呈南北走向的条带状, 与司家营矿区的走向一致。异常的极高值区基本为基岩面矿体露头位置, 图6基本圈定了司家营矿体的走向及范围。

表1 司家营铁矿床主要岩(矿)石磁化率参数统计^③Table 1 Magnetic susceptibility of main rocks and ores in the Sijiaying iron ore deposit^③

岩(矿)石类型	磁化率变化范围 ($\times 10^{-6}$ CGSM)	剩余磁化强度 ($\times 10^{-6}$ CGSM)
磁铁石英岩	$3 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4$	$5 \times 10^3 \sim 4 \times 10^4$
赤铁石英岩	$0 \sim 3 \times 10^4$	$0 \sim 3000$
黑云变粒岩	$0 \sim 100$	$0 \sim 100$
黑云斜长片麻岩	$100 \sim 300$	$100 \sim 200$
花岗质混合岩	0	0
片麻状混合岩	$0 \sim 500$	$0 \sim 200$
辉长辉绿岩	$100 \sim 300$	$100 \sim 200$

表 2 司家营铁矿床主要岩(矿)石密度参数统计^③
Table 2 Density parameters of main rocks and ores
in the Sijiaying iron ore deposit^③

岩(矿)石类型	密度范围 (g/cm ³)	密度均值 (g/cm ³)
磁铁矿石岩	3.3~3.6	3.44
赤铁矿石岩	2.9~3.3	3.2
黑云变粒岩	2.7~2.75	2.78
黑云斜长片麻岩	2.7~2.8	2.78
花岗质混合岩	2.61~2.68	2.67
片麻状混合岩	2.66~2.78	2.7

图 7 为司家营铁矿床大贾庄矿体 S22 线重磁综合剖面图。通过解剖发现:该垂直磁场剖面图有三个正异常,从左到右依次标号为 1、2、3,其中 3 号正异常峰值最大,1 号异常次之,2 号异常最小;3 号异常不仅峰值大,而且相对于其他两个异常区,曲线形态较为陡峭;三个异常的位置分别与下部矿体的位置相对应,且峰值位置对应与矿体最接近地面的位置。

4.3 重力特征

冀东地区铁矿区(带)的分布与强度或高或低的磁异常关系极为密切,同时也伴随着局部重力异常,因此磁异常与局部重力异常叠加区域是寻找沉

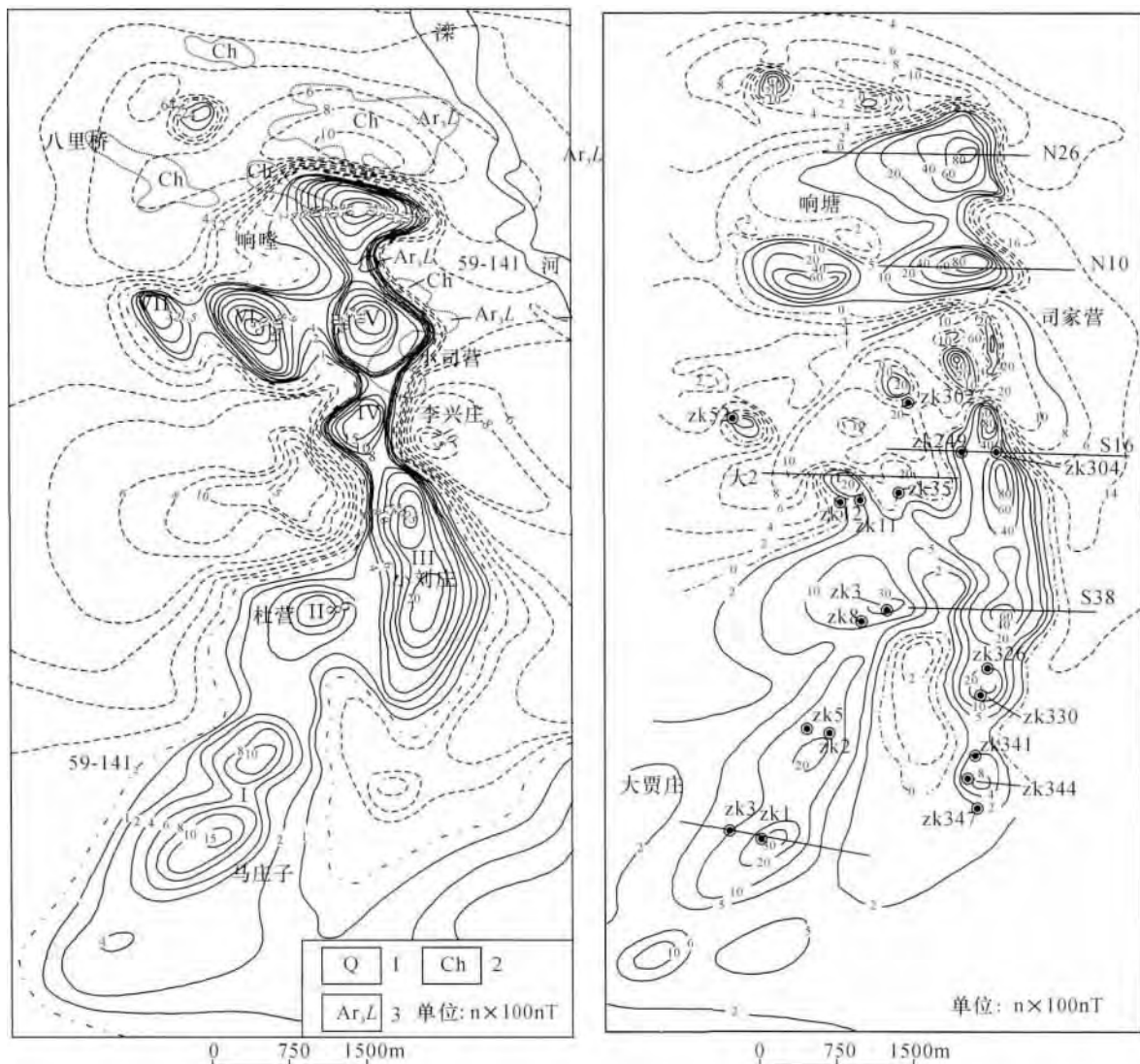


图 6 司家营铁矿区航磁异常(左)、地磁 ΔZ 异常图(右)^④

Fig. 6 Aeromagnetic anomaly(left) and geomagnetic anomaly(right) in Sijiaying iron deposit^④

1 - 第四系(Q); 2 - 长城系(Ch); 3 - 滦县群(Ar_3L)

1 - Quaternary(Q); 2 - Changcheng system(Ch); 3 - Luanxian group(Ar_3L)

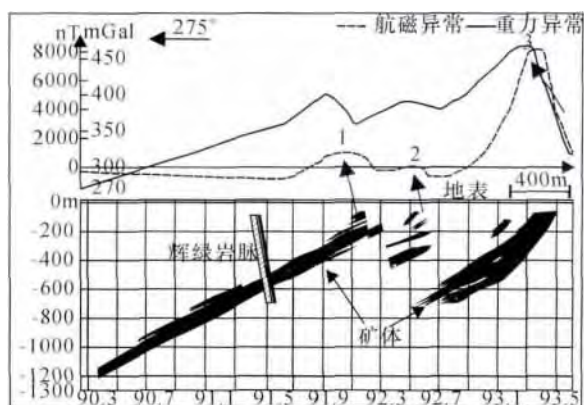


图 7 冀东司家营铁矿床大贾庄矿体 S22 线重磁综合剖面图

Fig. 7 Profile of gravity and magnetic of S22 line of Dajiazhuang orebody in eastern HeBei province

积变质铁矿的重要靶区,其强度与矿床规模及埋深有关。有些铁矿区(带)上无明显重力异常显示是由于资料比例尺太小,不能反映局部重力异常特征,但大比例尺的重力测量与磁测方法同时使用,可提高寻找铁矿及铁磁性矿产的效果(石妹华等 2011)。

从布格异常图(图 8)上看,磁性铁矿主要分布在布格重力异常的梯级带或异常扭曲处以及正负异常的交界或局部异常扭曲处(张亚东等 2012)。重力异常梯级带或异常扭曲多与地质构造强烈变形密切相关,而正负异常交界所反映的局部构造位置为局部隆起的边缘部位(张亚东等 2012),是司家营铁矿床等沉积变质型铁矿床的成矿有利部位,也是航磁异常分布十分密集的部位。



图 8 冀东地区布格重力 Δg_B 异常平面图
(简化自张亚东等 2012)

Fig. 8 Bouguer gravity anomaly map of eastern Hebei Province (simplified from Zhang et al., 2012)

1 - 正重力异常; 2 - 负重力异常
1 - positive gravity anomaly; 2 - negative gravity anomaly

图 9 为迁安-滦县地区上延 2 km 布格重力异常图,主要有 1、2、3、4 四个重力勘查的高值异常区,分别位于唐山市区、迁安、滦县东南与秦皇岛四个区域,由前人资料知,这四个高值异常区其中 1、3、4 均与鞍山式沉积变质型铁矿有关。这些部位主要是变质岩系分布区或基底隆起区的边缘,是成矿的有利部位,沉积变质型铁矿主要密集分布在大面积的低缓正磁异常区,司家营铁矿床就位于第 3 个高值异常区中。另外司家营铁矿床大贾庄矿体 S22 线重磁综合剖面图(图 7)也反映出 3 个重力异常峰值,该峰值与磁异常峰值基本一致,都反映了矿体最接近地面的位置。

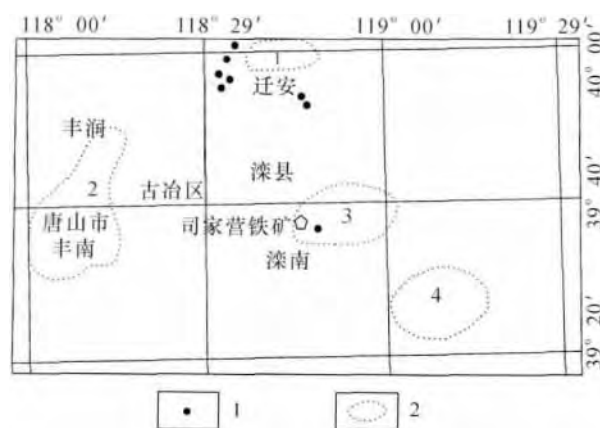


图 9 迁安-滦县上延 2 km 布格重力异常图及重点矿区

Fig. 9 Bouguer gravity anomaly map and key iron deposits of Qianan-Luanxian area after upward 2 km

1 - 重点矿区; 2 - 重力异常区

1 - key mining area; 2 - gravity anomaly zone

4.4 电磁法(CSAMT)测深在司家营铁矿的应用

河北省地矿局第二地质大队利用 V8 地球物理系统和美国 ZONGE 公司生产的 GDP-32II 电法工作站对司家营铁矿进行了电法勘查,其中一条勘测剖面位置为 S22 剖面(见图 2)。由 S22 勘探线可控源音频大地电磁测深(CSAMT)视电阻率拟断面图(图 10)可见,除张疃村附近区段(5050 点~5800 点)受人文干扰影响,视电阻率出现明显畸变外,在其余区段视电阻率等值线在深度小于 500 m 时,基本呈水平层状展布,自上而下大致可划分为 0~150m 左右的视电阻率缓慢增加层、150~400m 左右的快速增加带和深度大于 400 m 时的缓慢变化带等三个层位。浅部的缓慢增加层横向连续性极好,反映出该层的组成成分和结构沿纵向变化较小之特点,大致与区内的第四系沉积物相对应;中间的视电阻率快速增加带是带内地层电性结构发生突变的反

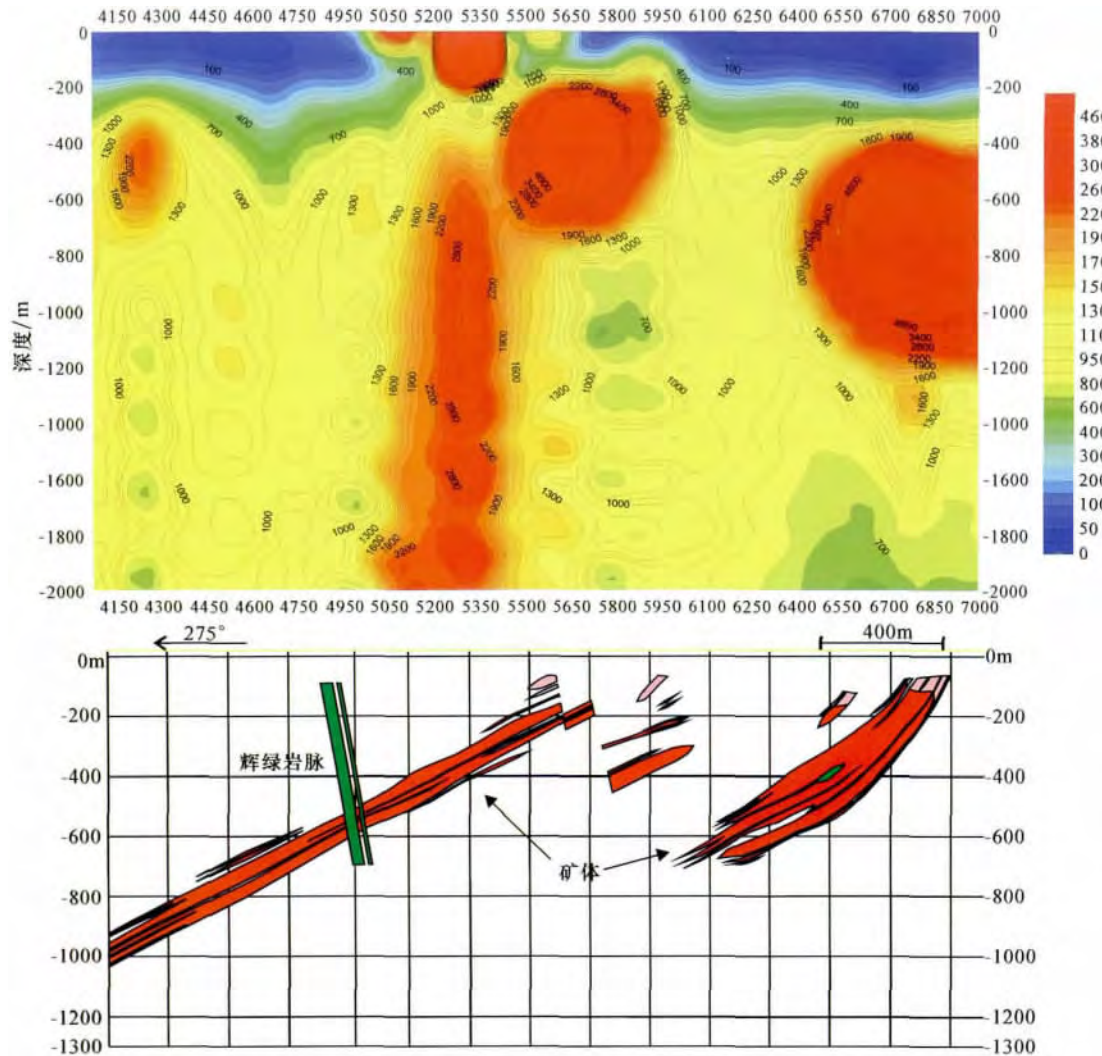


图 10 冀东司家营铁矿床 22 线 CSAMT 视电阻率拟断面图^③

Fig. 10 CSAMT apparent resistivity pseudo-section diagram of 22 line of Sijiang iron deposits in eastern Hebei Province^③

映。由此可知该带为第四系沉积物与下伏基岩的过渡带,基岩面应位于该带的顶部;由该层向下,视电阻率变化逐步趋缓,为区内下伏结晶基底中太古界变质岩系的反映。

将 CSAMT 视电阻率拟断面图与其下方的 S22 勘探线剖面图对比,铁矿体均位于视电阻率的中阻区,且由西侧的中阻逐渐向东侧的高阻过度。视电阻率变化范围较大,约 $500 \sim 1300 \Omega \cdot m$,铁矿体的上盘视电阻率变化较慢,下盘视电阻率急剧增高。因此铁矿体位于中阻区,上盘视电阻率低于下盘,上盘视电阻率变化小,下盘视电阻率变化速率远大于上盘。

综上所述,本区找矿标志采用以重磁法为主、电法为辅的物探方法,可有效确定磁铁铁矿集区位置,

在条件有利时,甚至可确定矿体的形态、埋深和赋存状态。

5 司家营铁矿地质-地球物理找矿模型

通过对司家营沉积变质岩型铁矿床的系统研究,总结控制铁矿及富铁矿的层位、构造、变质变形和岩浆活动等条件(层控性、时空性、构造控矿、岩浆活动、后期改造叠加)结合在矿床成因和控矿条件研究中获得的新认识,对司家营铁矿床的地球物理特征进行解析及信息提取,最后归纳、总结和对比,建立了司家营沉积变质型铁矿地质-地球物理找矿模型(表 3)。司家营铁矿床位于迁怀陆块与胶辽陆块的拼合带,赋矿层位是新太古代滦县群,其含矿原岩建造为火山岩-沉积岩系-硅铁建造,从下

表 3 冀东司家营沉积变质型铁矿地质 - 地球物理找矿模型
Table 3 The exploration model of Sijiaying BIFs deposit , eastern Hebei province

分类		主要特征
地质 成 矿 条 件 和 标 志	构造环境	岛弧构造环境
	含矿地层	晚太古代滦县岩群司家营组一段上部 ,司家营组二段中部
	含矿岩系和围岩	主要为黑云变粒岩、黑云斜长变粒岩及部分斜长角闪岩
	含矿原岩建造	火山岩 - 沉积岩系 - 硅铁建造
	构造	矿区主要受南北向的司马复向斜控制 ,断裂构造主要以 NNW、NNE 及近东西向断裂为主
	侵入岩	矿区侵入岩主要为混合花岗岩及辉长辉绿岩
	矿体及围岩蚀变	可见绿泥石化、碳酸盐化等 ,局部矿体受后期热液蚀变富
	成矿时代	晚太古代末期
	矿石特征	主要矿石矿物是磁铁矿 ,少量赤铁矿 ,矿石结构主要为他形 - 半自形结构
	地表找矿标志	矿区北部有铁矿体的露头
地球 物 理 标 志	区域地球物理特征	在区域上表现为磁异常与局部重力异常叠加区域
	磁异常平面特征	矿区磁异常的极值较高、等值线较密集、正负异常相间分布 ,异常呈南北走向的条带状 ,与司家营矿区的走向一致。且异常的极高值区基本为基岩面矿体露头位置 ,根据磁异常基本圈定了司家营矿体的走向及范围。
	磁异常剖面特征	司家营铁矿的矿体呈层状或似层状、产状基本稳定。矿体磁异常剖面基本可以反映矿体的形态。
	重力	矿体产出位置与重力异常密切相关
	电法	铁矿体均位于视电阻率的中阻区
	物探找矿标志	主要是航磁异常与重力异常相结合 ,电法辅助

至上构成一个火山 - 沉积旋回 ,由基性火山岩、中酸性火山碎屑岩向沉积岩过渡 ,由火山岩到沉积岩的转换过渡时期 ,是铁矿最有利的成矿时期。经后期强烈变质变形作用的叠加 ,发生重结晶及铁质进一步富集。矿区主要受南北向的司马复向斜控制 ,并受区域 NNW、NNE 及 NEE 断裂的控制。司家营铁矿的矿石和围岩的磁化率和密度差异明显 ,因此具有较明显的重力及磁异常特征。根据滦县 - 滦南区域地质特征及航磁、重力特征 ,在蓟县凹陷与山海关抬拱的交接部位及昌黎 - 固安大断裂北部的指挥 - 大夫庄一带的复向斜部位均为找矿的有利部位 ,司家营铁矿地质 - 地球物理找矿模型的建立将为该地区同类型铁矿的勘探工作提供一定依据。

6 结论

- (1) 通过对前人关于司家营铁矿床区域地质、矿床地质、成矿时代、构造背景、矿床及富铁矿成因、后期改造作用研究的总结 ,初步建立了司家营沉积变质型铁矿床的成矿模式。
- (2) 对司家营铁矿航磁、地磁异常特征 ,区域重力异常特征及可控源音频大地电磁测深(CSAMT)剖面进行解析和矿致异常信息提取 ,认为本区铁矿找矿以重磁法为主、电法为辅的物探方法可有效确定矿集区位置。

(3) 通过总结司家营铁矿控矿地质条件及地球物理特征建立了地质 - 地球物理找矿模型 ,为滦县 - 滦南 - 昌黎一带进一步寻找该类型铁矿提供一定的理论依据。

[注释]

- ① 河北省地质局第十五地质大队 . 1981. 河北省滦县司家营铁矿南区详细勘探地质报告 [R].
- ② 河北省地勘局第二地质大队 . 2009. 河北省滦县司家营铁矿南区深部补充勘查总结地质报告 [R].
- ③ 河北省地勘局第二地质大队 . 2010. 河北省滦县司家营铁矿普查综合研究成果报告 [R].
- ④ 河北省地质调查院 . 2010. 河北省铁矿资源潜力评价单矿种评价成果报告 [R].

[References]

Chang Su-cai , Han Xiu-li , Feng Hong-ye , Li Zhi-min , Zhang Tie-cheng. 2013. The deposit characteristics of Dajiazhuang ore block in Sijiaying iron mine [J]. Journal of Hebei United University(Natural Science Edition) , 35 (3) : 89 - 92 (in Chinese with English abstract)

Chen Jing ,Li Hou-min ,Li Li-xing ,Yang Xiu-qing ,Liu Ming-jun ,Yao Tong ,Zhang Jin-you. 2014. Fluid inclusions and oxygen isotope study of the Sijiaying BIF in the eastern Hebei Province [J]. Acta Petrologica Sinica , 30(5) : 1253 - 1268 (in Chinese with English abstract)

Ding Wen-jun. 2010. Geochemical Characteristics and Genesis of band iron formations from iron ore in Qian'an area [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) : 1 - 70 (in Chinese)

Gao Ji-feng. 1981. The characteristics of metamorphism of ferruginous rock series in Qian'an and Luanxian , eastern Hebei [J]. Chinese

- Academy of Geological Sciences Collections ,3: 25 – 44(in Chinese with English abstract)
- Jin Wen-shan ,Zhang Dian-fa. 1985. Correlations and characteristics of the matamprphic iron formations of iron deposits of Sijiaying and Ma-cheng districts in Luanxian County ,Hebei Province[J]. Bulletin of Tianjin Institute Geo. Min. Res. CAGS ,12: 51 – 67(in Chinese with English abstract)
- Li Hou-min , Wang Deng-hong , Li Li-xing , Chen Jing , Yang Xiu-qing , Liu Ming-jun. 2012. Metallogeny of iron deposits and resource potential of major iron minerogenetic units in China [J]. Geology in China ,39(3) : 559 – 580(in Chinese with English abstract)
- Li Wan-heng , Peng Wen-neng , Liu Jin-xuan , Yang Chang-ming. 1983. The minerogenesis and prognosis of Precambrian sedimentary-metamorphic iron deposits of Luanxian district , Eastern Hebei [J]. Earth Science ,02: 115 – 123 ,179(in Chinese with English abstract)
- Li Wen-jun , Jin Xin-di , Cui Min-li , Wang Chang-le. 2012. Characteristics of rare earth elements , trace elements and geological significations of BIF from Sijiaying in eastern Hebei [J]. Acta Petrologica Sinica ,28(11) : 3670 – 3678(in Chinese with English abstract)
- Li Xin. 2009. Discussion on the orebody geology and deep prospecting in north section of Sijiaying iron mine [J]. Metal Mine ,06: 113 – 116 (in Chinese with English abstract)
- Li Yan-he , Zhang Zeng-jie. Wu Jia-shan , Shang Ping-long. 2011. Metamorphic chronology of the BIF in Malanzhuang of eastern Hebei Province and its geological implications [J]. Mineral deposits , 30(4) : 645 – 653(in Chinese with English abstract)
- Liu Guo-hui. 1981. The original rocks of the metamorphosed ferruginous rock series in the Luanxian and Qian' an districts , Eastern Hebei. Institute of Geology [J]. Chinese Academy of Geological Sciences Collections ,3: 1 – 23(in Chinese with English abstract)
- Liu Xin-na. 2012. The application of magnetic in the exploration of Sijiaying iron ore [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics: 1 – 100(in Chinese with English abstract)
- Qian Xiang-lin , Cui Wen-yuan , Wang Shi-qi , Wang Guan-yu. 1985. Geology of Precambrian iron ores in Eastern Hebei Province , China [M]. Baoding: Hebei Science and Techonlogy Press: 1 – 273 (in Chinese)
- Qu Jun-feng , Li Jin-yi , Liu Jian-feng. 2013. Formation age of the BIF from the Wangsiyu iron deposit , eastern Hebei Province , and its implication [J]. Geological Bulletin of China , 32(2 – 3) : 260 – 266 (in Chinese with English abstract)
- Shen Qi-han , Liu Guo-hui , Zhang Qin-wen , Gao Ji-feng , He Shao-ying. 1981a. The correlation of the per-sinian metamorphosed ferruginous rock series of Qian' an and Luanxian , Eastern Hebei [J]. Institute of Geology. Chinese Academy of Geological Sciences Collections ,2: 1 – 15 (in Chinese with English abstract)
- Shen Qi-han , Zhang Zong-qing , Xia Ming-xian , Wang Xue-ying , Lu Jin-ying. 1981b. Rb – Sr age determination ong the late Archean ferrosiliceous rocks series in Sijiaying , Luanxian , Hebei [J]. Geological Review , 27(3) : 207 – 212(in Chinese with English abstract)
- Shi Shu-hua , Li Li-ping. 2011. The characteristics of gravity and magnetic anomalies in Hebei iron mining area(zone) [J]. Hebei Geology ,01: 25 – 26(in Chinese)
- Sun Hui-yi , Dong Chun-yan , Xie Hang-qian , Wang Wei , Ma Ming-zhu , Liu Dun-yi , Nutman , A. P. , Wan Yu-sheng. 2010. The formation age of the Neoarchean Zhuzhangzi and Dantazi Groups in the Qinglong area , Eastern Hebei Province: Evidence from SHRIMP U – Pb Zircon Dating [J]. Geological Review , 56(6) : 888 – 898(in Chinese with English abstract)
- Xu Ying-xia , Zhang Long-fei , Gao Xiao-min , Li Hou-min , Jia Dong-suo , Li Li-xing. 2014. Metallogenic conditions of high-grade ores in the Sijiaying sedimentary metamorphic iron deposit , eastern Hebei Province [J]. Geology and Exploration , 50(4) : 0675 – 0688(in Chinese with English abstract)
- Zhai Ming-guo , Bian Ai-guo , Zhao Tai-ping. 2000. The amalgamation of the supercontinent of North China Craton at the end of Neo-Archaean and its breakup during late Palaeoproterozoic and Meso-Proterozoic [J]. Science in China series D: Earth sciences , 43(1) : 219 – 232
- Zhai Ming-guo. 2010. Tectonic evolution and metallogenesis of North China Craton [J]. Mineral Deposits , 29(1) : 24 – 36(in Chinese with English abstract)
- Zhang Lian-chang , Zhai Ming-guo , Zhang Xiao-jing , Xiang Peng , Dai Yan-pei , Wang Chang-le , Pirajno F. 2012. Formation age and tectonic setting of the Shirengou Neoarchean banded iron deposit in eastern Hebei Province , Constraints from geochemistry and SIMS zircon U – Pb dating [J]. Precambrian Research , 222 – 223: 325 – 328
- Zhang Long-fei , Xu Ying-xia , Gao Xiao-min , Li Hou-min , Li Li-xing , Jia Dong-suo. 2014. Constrains of garnets on the metamorphic degree of sedimentary metamorphic iron deposit in the Qian' an-Luan area , eastern Hebei Province [J]. Geology and Exploration , 50(5) : 0938 – 0946(in Chinese with English abstract)
- Zhang Tian-long. 2014a. The gravity and magnetic anomaly characteristics and ore prospecting direction of LuanNan-LuanXian area in East Hebei Province [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics: 1 – 100(in Chinese with English abstract)
- Zhang Tian-long , Zhang Wei , Wang Zhong-yi , Zhang Fu-bin , Li Bin , Yang Li-wei. 2014. Characteristics of gravity and magnetic anomalies in Luannan area of eastern Hebei and their ore-prospecting significance [J]. Geophysical and Geochemical Exploration , 38(4) : 641 – 648(in Chinese with English abstract)
- Zhang Xiao-jing , Zhang Lian-chang , Xiang Peng , Wan Bo , Pirajno , F. 2011. Zircon U – Pb age , Hf isotopes and geochemistry of Shuichang Algoma-type banded iron-formation , North China Craton: constraints on the ore-forming age and tectonic setting [J]. Gondwana Research , 20(1) : 137 – 148
- Zhang Ya-dong , Song Jin-su , Gong Hong-lei , Dong Jie. 2012. The relationship between distribution of iron deposits and characterics of gravity and magnetic fields in Hebei province [J]. Geophysical and Geochemical exploration , 36(4) : 517 – 522(in Chinese with English abstract)
- Zhao Zong-pu. 1993. Precambrian crustal evolution of the Sino-Korean platform [M]. Beijing: Science Press: 1 – 432(in Chinese)

[附中文参考文献]

- 常素彩, 韩秀丽, 冯宏业, 李志民, 张铁成. 2013. 司家营铁矿大贾庄矿段地质特征[J]. 河北联合大学学报(自然科学版), 35(3): 89-92
- 陈靖, 李厚民, 李立兴, 杨秀清, 刘明军, 姚通, 胡彬, 张进友. 2014. 冀东司家营 BIF 铁矿流体包裹体及氧同位素研究[J]. 岩石学报, 30(5): 1253-1268
- 丁文君. 2010. 迁安铁矿地球化学特征及其对矿床成因的指示[D]. 北京: 中国地质大学北京: 1-70
- 高吉凤. 1981. 冀东迁安滦县含铁岩系变质作用的特征[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 3: 25-44
- 金文山, 张殿发. 1985. 河北滦县司家营、马城矿区的含铁变质岩系特征及对比[J]. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 12: 51-67
- 李厚民, 王登红, 李立兴, 陈靖, 杨秀清, 刘明军. 2012. 中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析[J]. 中国地质, 39(3): 559-580
- 李万亨, 彭文能, 刘瑾璇, 杨昌明. 1983. 冀东滦县一带前寒武纪沉积变质铁矿床成矿规律及成矿预测[J]. 地球科学, 02: 115-123, 179
- 李文君, 靳新娣, 崔敏利, 王长乐. 2012. BIF 微量稀土元素分析方法及其在冀东司家营铁矿中的应用[J]. 岩石学报, 11: 3670-3678
- 李欣. 2009. 司家营铁矿北区矿体地质与深部找矿的探讨[J]. 金属矿山, 06: 113-116
- 李延河, 张增杰, 伍家善, 尚龙平. 2011. 冀东马兰庄条带状硅铁建造的变质时代及地质意义[J]. 矿床地质, 30(4): 645-653
- 刘国惠. 1981. 冀东迁安与滦县变质含铁岩系的原岩恢复[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 3: 1-23
- 刘新娜. 2012. 磁法勘探在滦县司家营铁矿勘查中的应用研究[D]. 石家庄: 石家庄经济学院: 1-100
- 钱祥麟, 崔元, 王时麒, 王关玉. 1985. 冀东前寒武纪铁矿地质[M]. 保定: 河北科学技术出版社: 1-273
- 曲军峰, 李锦轶, 刘建峰. 2013. 冀东地区王寺峪条带状铁矿的形成时代及意义[J]. 地质通报, 32(2-3): 260-266
- 沈其韩, 刘国惠, 张勤文, 高吉凤, 贺绍英. 1981a. 冀东迁安、滦县前震旦亚界变质含铁岩系的对比问题[J]. 中国地质科学院院报地质研究所分刊, 2: 1-15
- 沈其韩, 张宗清, 夏明仙, 王雪英, 鲁锦英. 1981b. 河北滦县司家营晚太古代铁硅质岩系的铷-锶同位素年龄测定[J]. 地质论评, 27(3): 207-212
- 石妹华, 李丽萍. 2011. 河北省铁矿区(带)上的重磁异常特征[J]. 河北地质, 01: 25-26
- 孙会一, 董春艳, 颜炳强, 王伟, 马铭株, 刘敦一, Nutman, A. P., 万渝生. 2010. 冀东青龙地区新太古代朱杖子群和单塔子群形成时代: 锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 地质论评, 56(6): 888-898
- 许英霞, 张龙飞, 高孝敏, 李厚民, 贾东锁, 李立兴. 2014. 冀东司家营铁矿床富矿成矿条件研究[J]. 地质与勘探, 50(4): 675-688
- 翟明国. 2010. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 29(1): 24-36
- 张天龙. 2014a. 冀东滦南一滦县一带重磁异常特征及铁矿找矿方向探讨[D]. 石家庄: 石家庄经济学院: 1-100
- 张天龙, 张维, 王忠义, 张福斌, 李斌, 杨立伟. 2014b. 冀东滦南一带重磁异常特征及找矿意义[J]. 物探与化探, 04: 641-648
- 张龙飞, 许英霞, 高孝敏, 李厚民, 李立兴, 贾东锁. 2014. 冀东迁滦地区沉积变质型铁矿床变质作用程度: 来自石榴子石的制约[J]. 地质与勘探, 50(5): 938-946
- 张亚东, 宋金素, 龚红雷, 董杰. 2012. 河北省铁矿分布与重磁场特征的关系[J]. 物探与化探, 36(4): 517-522
- 赵宗溥. 1993. 中朝准地台前寒武纪地壳演化[J]. 北京: 科学出版社: 1-432

The Exploration Model of the Sijiaying Sedimentary Metamorphic Iron Deposit in Eastern Hebei Province

XU Ying-xia¹, ZHANG Long-fei¹, LI Hou-min², LI Li-xing², GAO Xiao-min³, JIA Dong-suo³

(1. Department of Geology, Mining Engineering College, Hebei United University, Tangshan Hebei 063009;

2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3. No. 2 Geological Brigade of Hebei Geology and Mineral Exploration Bureau, Tangshan Hebei 063000)

Abstract: The Sijiaying iron deposit is one of typical sedimentary metamorphic iron deposits and the biggest iron deposit in eastern Hebei Province. The proven resource of this deposit has been verified to a total of 3.2 billion tons. The data of regional geology, deposit geology and ore-controls in this area are summarized in this paper. Then combined with previous work on the tectonic background, metallogenic epoch, genetic types and late reformation, a metallogenic model for this deposit is constructed. Based on data of aeromagnetic, magnetic and gravity anomalies, coupled with the geological interpretation of CSAMT profiles and the extracted information of mineralization anomalies in the Sijiaying iron deposit, it is believed that the geophysical technology which consists of gravity and magnetic prospecting, supported by the electromagnetic prospecting as auxiliary, is an effective method to delineate ore-concentrating areas. Thus a geological-geophysical model is established for the Sijiaying iron deposit based on the summary of the metallogenic geological conditions and the physical characteristics of the region. This model can provide a theoretical basis for the prospecting work of sedimentary metamorphic iron deposits in the Luanxian-Luannan-Changli area.

Key words: sedimentary metamorphic iron deposit, exploration model, metallogenic model, Sijiaying